

ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТИТАНА С СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОЙ СТРУКТУРОЙ

Симонова А.А., Пупань Л.И., Вerezуб Н.В.

Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, ул. Фрунзе, 21, 7076143, grabchenko@kpi.kharkov.ua

Создание материалов с принципиально новым уровнем функциональных свойств для практического применения в различных отраслях промышленности является приоритетным направлением развития нанотехнологий. Особое внимание заслуживает формирование нового класса конструкционных материалов, обладающих существенно более высокими характеристиками механических свойств по сравнению с традиционными аналогами.

В отличие от существовавших ранее направлений увеличения механических свойств конструкционных материалов путем легирования и изменения фазового состава нанотехнологический подход основан на создании у материалов нанокристаллического строения, обеспечивающего существенное увеличение механических свойств.

Перспективной технологией получения субмикро- и нанокристаллических материалов являются методы интенсивной пластической деформации (ИПД) – методы деформационного диспергирования, обеспечивающие измельчение микроструктуры в металлах и сплавах до нанодиапазона за счет существенных деформаций сдвига.

На основе методов интенсивной пластической деформации получают массивные образцы, пригодные для испытания и создания реальных изделий на основе чистых металлов, промышленных сплавов.

Методы ИПД позволяют формировать субмикро- и нанокристаллические многофункциональные структуры с уникальным сочетанием таких особо важных для инженерных применений механических и эксплуатационных свойств, как высокая твердость, высокие прочность и пластичность, высокая усталостная прочность, износостойкость и т.д.

Основным механизмом измельчения зерна методами ИПД является постепенная трансформация первоначально возникшей ячеистой дислокационной структуры в окончательную структуру с нано- и субмикронным размером зерна.

Важным достоинством методов интенсивной пластической деформации является то, что являясь, по сути, новым применением методов обработки металлов давлением, они могут встраиваться в существующие технологические цепочки получения изделий.

Среди большого многообразия получаемых методами ИПД материалов особый интерес представляют титан и его сплавы, что обусловлено широкой сферой применения данных высокопрочных легких материалов, в т.ч. во мно-

гих инновационных отраслях промышленности, таких, как авиационно-космическая отрасль, автомобилестроение, медицина.

Исследованный в данной работе технически чистый титан ВТ1-0 с субмикрокристаллической структурой (размер зерен ~ 250 нм) был получен с помощью метода всестороннейковки, который имеет ряд преимуществ по сравнению с другими методами ИПД.

В данном методе простые операции свободнойковки (осадка и протяжка) повторяются многократно со сменой оси прилагаемого деформирующего усилия. Метод не требует дорогостоящего инструмента и позволяет использовать существующее технологическое прессовое оборудование, обеспечивает получение субмикро- и нанокристаллического состояния даже в достаточно хрупких материалах, поскольку обработку начинают с повышенных температур и используют небольшие удельные нагрузки на инструмент.

Так как конечные изделия из субмикро- и нанокристаллических материалов получают механической обработкой резанием, сопровождающейся интенсивным тепловыделением в зоне контакта инструмент – обрабатываемый материал, особую актуальность приобретает изучение стабильности получаемой структуры в процессах окончательной технологической обработки.

В качестве характеристики механических свойств в данной работе исследовалась микротвердость, которая играет важную роль при эксплуатации конечных изделий, а также представляет собой весьма информативный параметр, позволяющий получить косвенную информацию о протекании фазово-структурных превращений, об изменении напряженно-деформированного состояния поверхностного слоя и, в итоге, сделать выводы о стабильности фрагментированной структуры.

Измерения микротвердости осуществляли на образцах ВТ1-0 в исходном крупнокристаллическом состоянии (горячекатаные прутки $\varnothing 15$ мм), в субмикрокристаллическом состоянии после процесса всестороннейковки (заготовки шестигранной формы размером 25×20 мм), а также после их механической обработки с различными параметрами режима резания.

Микроиндентирование проводилось на микротвердомере ПМТ-3 с использованием алмазной пирамиды Виккерса. Нагрузка на индентор составляла 0,49 Н. Значения величины микротвердости усреднялись по 9...10 замерам. Погрешность измерений составляла $\sim 5\%$.

Исследование влияния элементов режима резания (скорости, подачи) на механические свойства субмикрокристаллического титана ВТ1-0 проводилось на вертикально-фрезерном станке с использованием в качестве инструмента однозубой торцовой фрезы из твердосплавного материала ВК8.

Параметры режима резания изменялись в пределах: $V = 30 \dots 160$ м/мин, $S_z = 0,09 \dots 0,14$ мм/зуб, глубина резания оставалась постоянной – $t = 0,5$ мм.

Установлено, что микротвердость исходного крупнокристаллического технически чистого титана BT1-0 составляет ~ 1800 МПа. Как показали измерения, микротвердость данного материала после всестороннейковки существенно выше – 2900 МПа, т.е. более, чем на 60% превышает исходное состояние, что характерно для субмикро- и нанокристаллических материалов, полученных ИПД.

Исследование влияния режимов механической обработки на микротвердость наноструктурных образцов титана показало, что при обработке на низких значениях скорости резания и подачи ($V = 30$ м/мин и $S_z = 0,09$ мм/зуб) снижение микротвердости у образцов с субмикрокристаллической структурой незначительно (изменения в пределах погрешности измерений). Увеличение скорости резания приводит к несколько более существенному снижению микротвердости – ее значение при $V = 160$ м/мин составляет ~ 2600 МПа, т.е. уменьшается по сравнению с исходным значением на 10% , но, тем не менее, по-прежнему превышает значение данного параметра для крупнокристаллического титана (более, чем на 40%).

Микроиндентирование образцов, обработанных в аналогичном диапазоне скоростей резания, но при увеличении подачи показало следующее. При изменении скорости резания от 30 м/мин до 160 м/мин и одновременном увеличении подачи от $0,09$ мм/зуб до $0,14$ мм/зуб наблюдается определенное снижение величины микротвердости в субмикрокристаллическом образце (до 2400 МПа). Однако данное значение все же превышает микротвердость образцов в крупнокристаллическом структурном состоянии.

Изменения микротвердости и, соответственно, напряженного состояния поверхностного слоя титана в процессе обработки, как предполагается, обусловлены структурным фактором – увеличением размера зерен материала под влиянием существенного теплового фактора при механической обработке. Данное предположение подтверждается результатами исследования структуры с помощью сканирующего электронного микроскопа.

Таким образом, полученные экспериментальные данные свидетельствуют о влиянии параметров режима обработки (скорости резания, подачи) на механические свойства (микротвердость) образцов титана BT1-0 с субмикрокристаллической структурой.

Обеспечение высокого уровня физико-механических свойств функциональных изделий из субмикро- и нанокристаллического титана и стабильности их структуры, сформированной на стадии ИПД, в процессе последующей механической обработки возможно на основе установления области рациональных режимов резания.